干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.06.27

基于 GFI 模型的西安市能源消费碳排放因素分解研究①

王　剑，　薛东前，　马蓓蓓
（陕西师范大学地理科学与旅游学院，陕西师范大学地理学国家级实验教学示范中心，陕西　西安　710119）

摘　要：基于 2000—2015 年西安市能源消费量数据，采用碳排放模型和 GFI 模型，分析区域能源消费碳排放量的变化趋势及影响因素，探讨西安市能源消费碳排放的拉动与抑制要素的互动关系及影响。结果表明：(1) 西安市能源消费碳排放量总体呈现上升趋势，煤炭、原油消费为主要碳源。(2) 能源利用结构正在发生转变，低能耗低碳排的能源消费量逐年上升，传统能源利用量正日趋减少。(3) 经济发展要素和人口要素是西安市能源消费碳排放的主要拉动因素，能源结构要素拉动效应不显著，短期内不易改变；能源强度对能源消费碳排放具有抑制作用，且呈现增强态势，但效果不明显。最后提出西安市能源消费碳排放减排建议。

关　键　词： 碳排放；GFI 模型；因素分解；西安市
中图分类号： X24　　**文献标识码：**A　　**文章编号**

全球气候恶化的宏观背景下，能源消费作为碳排放的主要来源一直备受关注。21 世纪以来我国能源消费碳排放与节能减排加速博弈，发展与减排的双重压力与日俱增。作为联合国气候变化框架公约的缔约国之一，我国政府在 2009 年气候变化大会上，提出具体的碳排放减排目标，即到 2020 年中国单位国内生产总值 CO_2 排放比 2005 年下降 40% ~ 45%[1]。为实现目标，各领域对碳排放进行了多角度多维度的研究。为缓解城市减排压力，本文从城市能源消费入手，分析碳排放主要拉动力和抑制力，以期从根源探究西安城市碳排放主导因素，为城市节能减排提供参考。

能源消费是发展的主要动力来源，城市作为生产要素最为集中的区域，成为能源消费的主体，随之产生的碳排放就成为相对较高的集聚区，城市碳排放占到人类总排放的 80% 以上[2]，分解城市内部碳排放因素，对制定切实可行的减排措施，落实减排任务具有重要意义。因此，城市能源消费碳排放及主导因素的研究就十分必要。城市能源消费碳排放的研究中，谢守红[3]、WU Junnian[4]、赵冠伟[5]、杜强[6]、张清[7]、SITI Indati Mustapa[8] 等人分别从不同城市出发探讨高污染高耗能行业对碳排放量的影响，并对碳排放总量及均量进行分析，发现在不同行业中，改善技术水平提升能源利用效率能够有效抑制碳排放产生。田立新[9]；汪菲和王长建[10]；李国璋[11] 等学者从国家和区域运用不同模型分别探讨要素对碳排放的拉动和抑制作用，并提出了可操作性的减排政策。还有学者从省市或者大区域尺度出发，探讨更适合当地减少碳排放的对策及建议[12-15]。以上研究对碳排放在大尺度区域实行减排作出了重要的实践参考，但欠缺对小尺度的深入分析。2010 年国家选择了 8 个城市进行低碳试点，以期能够摸索出适合中国城市的减排低碳路径[16]。为了精准的实施减排计划，运用模型将碳排放进行因素分解，是本文研究的出发点。目前，在对能源消费进行因素分解的方法中，Laspeyres 指数和 Divisia 指数应用相对较为广泛，但两种指数都存在无法消除因素分解的残差项，得到精确结果的缺点[17]。为了解决这个问题，本文选取 ANG 等[18] 2004 年建立的广义费雪模型（GFI 模型）。通过计算西安市能源消费碳排放量，能够精确分析出不同因素对西安市

① **收稿日期：**2018-07-02；　**修订日期：**2018-10-24
基金项目：国家科技基础性工作专项（2014FY210100）
作者简介：王剑（1989-），男，博士研究生，主要从事城市与区域发展. E-mail：wjks1018@163.com
通讯作者：薛东前（1965-），男，教授，博士生导师，主要从事城市产业与城市社会研究. E-mail：xuedq@snnu.edu.cn

能源消费碳排放的拉动和抑制作用。

总之,能源消费碳排放以及影响因素的分解研究已经取得一定的成果,但降低碳排放关键节点的城市内部的碳排放研究还较欠缺。西安作为西北地区的重镇,经济实力、工业基础、文化底蕴、人口规模都位居前列,减排压力大。近几年西安市大气污染较严重,能源消费碳排放的研究就更显迫切。本文基于西安市能源消费数据,选出城市消耗较多的8种生化能源,对西安市的能源消费碳排放进行计算,以此为基础利用GFI模型因素分解的优势,将能源消费碳排放分解成四个要素进行分析,以期能够更为精准的刻画西安市能源消费的特点,有针对性的提出减排建议。

1 研究区概况

西安市位于107°40′~109°49′E和33°42′~34°45′N之间,北临渭河,南依秦岭,是祖国西北重要的政治、经济、文化中心。总面积10 096.81 km^2,市区规划面积865 km^2,城市建成区面积565.75 km^2,常住人口8 83.21×10^{4}人。2016年全年实现生产总值6 257.18×10^{8}元,财政总收入达到1 135.68×10^{8}元,全社会固定资产投资5 191.36×10^{8}元,社会消费品零售总额3 730.70×10^{8}元,规模以上工业增加值达到1 178.39×10^{8}元,轻工业增加值255.70×10^{8}元,重工业增加值922.69×10^{8}元。经济和人口在城市内部集中发展导致能源消耗量增加,碳排放大量产生,城市减排压力日益增大。

2 分析方法及数据来源

2.1 能源消费量碳排放计算方法

本文依据IPCC(2006)所提供的模型对2000—2015年西安市的能源消费碳排放量进行测算,计算过程中将所有的燃料当做完全燃烧,氧化率为1。计算公式为:

$$E = \sum_{i=n}^{8} R_i \times NCV_i \times EF_i \times \theta \tag{1}$$

式中:E代表能源消费碳排放量;i为能源种类;R为各种类的能源消费量;NCV为能源的热值;EF为能源碳排放因子(排放系数);θ为转换系数(44/12)[19-21]。

表1 各种能源发热量及排放系数

Tab.1 Various energy heat and emission factors

能源类型	平均低位发热量 / 10^8 J·t^{-1}	排放系数 / tC·(10^{12} J)$^{-1}$
原煤	209.08	25.8
焦炭	284.35	29.2
原油	418.16	18.9
汽油	430.70	19.6
煤油	430.70	20.2
柴油	426.52	21.1
燃料油	418.16	17.2
天然气	389.31	15.3

2.2 能源消费碳排放GFI因素分解模型

GFI模型又称为广义费雪模型,该模型属于多乘积分解,模型设计复杂,其可以有效克服Laspeyres指数分解和Divisia指数分解存在的残差项,由于GFI模型因素分解的良好特性而被用于更为准确及多因素分解研究[18]。具体公式如下:

基于KAYA恒等式将碳排放扩展为:

$$C = \sum_i C_{it} = \sum_i \frac{E_{it}}{E_t} \times \frac{C_{it}}{E_{it}} \times \frac{E_t}{Y_t} \times \frac{Y_t}{P_t} \times P_t = \sum_i Q_{it} \times S_{it} \times I_t \times G_t \times P_t \tag{2}$$

式中:C为第t年的碳排放量;C_{it}为第t年第i中能源的碳排放量;E_{it}为第t年i种能源的消费量;E_t为第t年能源的消费总量;Y_t为第t年国内生产总值GDP;P_t为第t年的人口总数。能源结构因素$Q_{it}=E_{it}/E_t$,即第t年i种能源在能源消费中的份额;能源排放系数$S_{it}=C_{it}/E_{it}$,即消费单位i种能源的碳排放量,是固定不变的;能源碳排放强度$I_t=E_t/Y_t$,即单位GDP的能源消费量;$G_t=Y_t/P_t$即第t年的经济发展水平;P_t表示第t年人口。

设C为总量指标,可以表示为n个分量$X_1,X_2,X_3,\cdots,X_N$。i表示总量的分类层级,用于进行层级结构变化的分析,则有:

$$C = \sum V_i = \sum_i X_1 X_2 X_3 \cdots X_n \tag{3}$$

定义$N=\{1,2,3,\cdots,n\}$,N的势为n。S为N的一个子集,势为s'。定义函数$V(S) = \sum(\prod_{l\in S} X_l^T \prod_{m\in N/S} X_m^0)$,$V(\Phi) = \sum(\prod_{m\in N} X_m^0)$,其中$\Phi$为空集,上标表明时期0和时期$T$。根据"几何平均"原理,将$C_T/C_0$分解为$n$个部分。每一个要素$X_j(j=1,2,3,\cdots,n)$的分解结果为:

$$D_{Xj}=\prod_{\substack{S\subset N\\ j\in S}}\left[\frac{C(S)}{C(S/\{j\})}\right]^{\frac{1}{n}\times\frac{1}{\binom{n-1}{s'-1}}}=\prod_{\substack{S\subset N\\ j\in S}}\left[\frac{C(S)}{C(S/\{j\})}\right]^{\frac{(s'-1)!(n-s')!}{n!}} \tag{4}$$

$D_{Xj}(j=1,2,3,\cdots,n)$ 为广义费雪模型法的分解因素项。

根据上述分解方法，影响能源消费的因素可以归结为能源结构（D_Q）、能源强度（D_I）、经济发展（D_G）以及人口规模（D_P）。据此，将影响西安市能源消费碳排放的因素分解为 $C^t/C^0=D_QD_ID_GD_P$，其中：

$$\begin{aligned}D_Q={}&\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^0}\right]^{\frac{1}{4}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^t}\right]^{\frac{1}{12}}\times\\&\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^t}\times\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^t}\right]^{\frac{1}{12}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^t}\right]^{\frac{1}{4}}\end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}D_I={}&\left[\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^0}\right]^{\frac{1}{4}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^0}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^t}\right]^{\frac{1}{12}}\times\\&\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^t}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^t}\right]^{\frac{1}{12}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^t}\right]^{\frac{1}{4}}\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}D_G={}&\left[\frac{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^0}\right]^{\frac{1}{4}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^t}\right]^{\frac{1}{12}}\times\\&\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^0}{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^t}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^t}\right]^{\frac{1}{12}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^t}\right]^{\frac{1}{4}}\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}D_P={}&\left[\frac{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^0P_i^0}\right]^{\frac{1}{4}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^0G_i^tP_i^0}\right]^{\frac{1}{12}}\times\\&\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^0P_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^0I_i^tG_i^tP_i^0}\times\frac{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^0G_i^tP_i^0}\right]^{\frac{1}{12}}\times\left[\frac{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^t}{\sum_i Q_i^tI_i^tG_i^tP_i^0}\right]^{\frac{1}{4}}\end{aligned} \tag{8}$$

2.3　数据来源

本文以西安市为研究区域，对能源消费所产生的碳排放量进行测算和因素分解。涉及的能源消费数据、地区生产总值、人口总量等数据均来自 2001—2016 年《西安统计年鉴》、《陕西统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》。为消除价格波动的影响，本文 GDP 以 2000 年为基年进行换算。能源消费碳排放是基于能源消费总量所引起的碳排放，碳排放数据按照 IPCC 所提供的模型计算获得。

3　结果分析

3.1　西安市能源消费碳排放测算

根据公式（1）计算出西安市 2000—2015 年 8 种能源消费总量的碳排放（表 2）

由表 2 可知，西安市主要能源消费碳排放在逐年增长，2015 年的碳排放总量是 2000 年的 2.43 倍，年均增长 6.10%。2003 年开始碳排放量大幅提升，2015 年比 2003 年增加 775.86 $\times 10^4$ t，年均增长 64.66 $\times 10^4$ t。8种主要能源消费结构发生了变化，

表 2　2000—2015 年西安市能源消费碳排放核算

Tab. 2　Estimation of energy consumption and carbon emissions in Xi'an City from 2000 to 2015

年份	原煤	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	合计
2000	589.54	17.62	107.64	5.39	3.22	5.50	4.83	0.40	734.13
2001	650.96	20.28	178.44	4.50	3.03	5.23	2.24	0.58	865.25
2002	583.87	21.90	238.23	4.34	3.51	6.95	3.60	0.55	862.95
2003	657.89	20.17	312.91	4.52	3.50	7.93	2.30	0.59	1 009.82
2004	1 023.65	26.55	409.04	5.98	3.70	16.46	1.88	8.78	1 496.04
2005	1 102.26	20.83	497.70	4.95	3.05	13.66	3.38	0.81	1 646.62
2006	1 236.52	12.62	481.96	5.85	3.43	15.48	2.09	1.68	1 759.65
2007	1 346.13	31.96	513.72	6.93	3.55	13.87	2.26	2.18	1 920.59
2008	1 316.58	25.81	451.08	7.96	3.55	15.54	3.16	1.90	1 825.58
2009	1 550.81	17.58	489.43	11.06	3.64	12.00	0.14	2.05	2 086.72
2010	1 537.71	17.85	504.71	9.29	4.55	18.24	0.33	2.32	2 095.00
2011	1 492.95	11.86	443.86	8.18	4.66	17.61	0.20	2.64	1 981.96
2012	1 485.97	2.94	630.19	7.53	4.22	17.95	0.18	3.69	2 152.66
2013	2 039.50	2.55	617.55	10.24	4.69	21.96	0.29	5.49	2 702.26
2014	1 903.55	0.80	429.03	7.82	0.06	21.76	0.00	4.41	2 367.44
2015	1 670.71	0.46	81.62	6.43	0.09	19.58	0.28	6.48	1 785.68

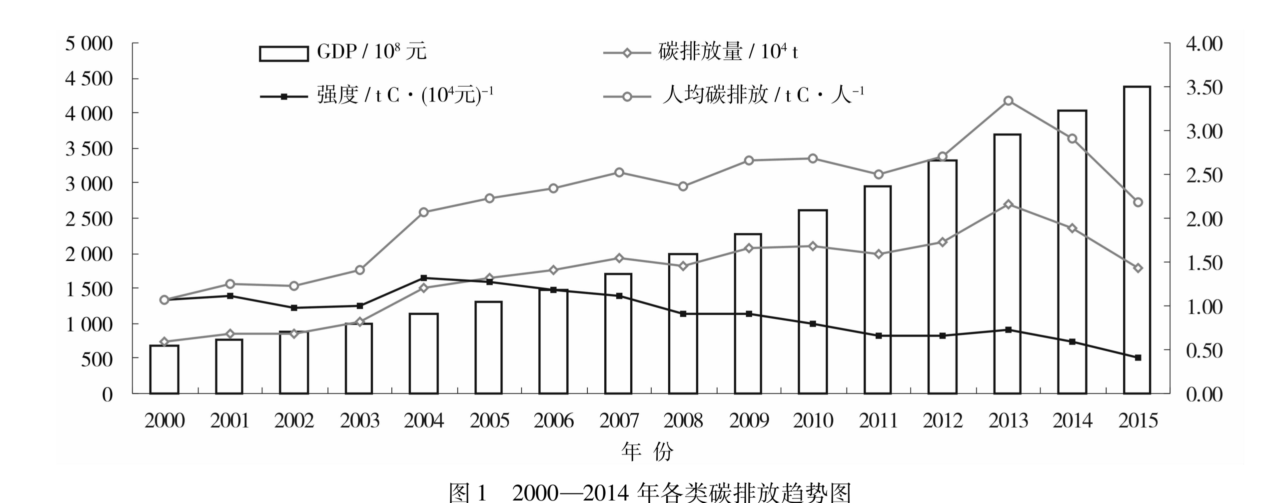


图 1　2000—2014 年各类碳排放趋势图

Fig. 1　Trends of carbon emissions from 2000 to 2014

低碳能源逐步普及的背景下，天然气的能源消费总量逐渐增加，其碳排放量的年均增长是 8 种能源中最高的，达到了 20.4%，焦炭、煤油、燃料油的碳排放量逐年减少，增长率均为负值，年均增长率分别为 −21.58%、−21.22%、−17.29%。原煤的碳排放量居高不下，每年都占到总碳排放量的 65% 以上，说明西安市的能源消费结构还是以煤炭为主导，但传统能源的消耗量正在逐渐减少。

由表 2 和图 1 可知，碳排放量、人均碳排放量与经济发展都呈现增长趋势，GDP 环比增长 13.48%，经济发展与碳排放总量都呈现出较强的增长趋势。碳排放总量与人均碳排放量呈现出高度的吻合性，分别在 2004 年和 2013 年有一定幅度的提升，碳排放总量 2004 年环比增长 48.15%，2013 年环比增长 25.53%；人均碳排放量 2004 年环比增长 46.42%，2013 年环比增长 23.83%。碳排放强度平缓下降，由 2000 年的 1.07 t C·$(10^4$ 元$)^{-1}$下降到 2015 年 0.41 t C·$(10^4$ 元$)^{-1}$。综上所述，能源消费碳排放量与能源种类、经济发展、消费习惯均等诸多要素有较强相关性。鉴于以上原因，本文利用 GFI 模型对西安市能源消费碳排放进行因素分解分析。从而探讨各因素对能源消费碳排放的影响。

3.2　西安市能源消费碳排放因素分解

根据公式(5)～(8)，计算西安市能源消费碳排放的分解结果，即能源结构(*DQ*)、能源强度(*DI*)、经济发展(*DG*)及人口规模(*DP*)4种因素对能源消

表 3　2000—2015 年 4 类分解要素对能源消费碳排放影响效应

Tab. 3　Effect of four types of decomposition factors on carbon emissions from energy consumption from 2000 to 2014

年份	能源结构 DQ	能源强度 DI	经济发展 DG	人口因素 DP	总效应
2000—2001	1.02	1.02	1.12	1.01	4.17
2001—2002	1.04	0.88	1.25	1.02	4.20
2002—2003	1.05	0.90	1.40	1.04	4.39
2003—2004	1.04	1.19	1.57	1.05	4.85
2004—2005	1.05	1.14	1.75	1.08	5.01
2005—2006	1.03	1.08	1.96	1.09	5.17
2006—2007	1.04	1.02	2.23	1.11	5.41
2007—2008	1.04	0.84	2.57	1.12	5.57
2008—2009	1.05	0.90	2.91	1.14	6.00
2009—2010	1.04	0.74	3.32	1.14	6.24
2010—2011	1.04	0.62	3.74	1.15	6.55
2011—2012	1.04	0.59	4.16	1.16	6.95
2012—2013	1.04	0.68	4.56	1.17	7.45
2013—2014	1.03	0.55	4.96	1.18	7.73
2014—2015	1.02	0.40	5.37	1.19	7.97
累积效应	15.57	12.53	42.86	16.66	

表 4　2000—2014 年 4 类分解要素对能源消费碳排放贡献率 / %

Tab. 4　Contribution rates of four categories of decomposition factors to energy consumption carbon emissions from 2000 to 2014 / %

年份	能源结构 DQ	能源强度 DI	经济发展 DG	人口因素 DP
2000—2001	0.24	0.25	0.27	0.24
2001—2002	0.25	0.21	0.30	0.24
2002—2003	0.24	0.20	0.32	0.24
2003—2004	0.22	0.24	0.32	0.22
2004—2005	0.21	0.23	0.35	0.22
2005—2006	0.20	0.21	0.38	0.21
2006—2007	0.19	0.19	0.41	0.21
2007—2008	0.19	0.15	0.46	0.20
2008—2009	0.18	0.15	0.48	0.19
2009—2010	0.17	0.12	0.53	0.18
2010—2011	0.16	0.09	0.57	0.18
2011—2012	0.15	0.08	0.60	0.17
2012—2013	0.14	0.09	0.61	0.16
2013—2014	0.13	0.07	0.64	0.15
2014—2015	0.13	0.05	0.67	0.15
共计	0.19	0.16	0.45	0.20

费碳排放的影响。

根据 GFI 模型因素分解的结果(表 3、表 4),可以将西安市能源消费碳排放的影响因素排序为经济发展因素、人口因素、能源结构因素,最后是能源强度因素,总效应由 2000 年的 4.17 上升至 2015 年的 7.97,表明这 4 种因素对碳排放的影响还在持续上升。2000—2015 年,经济发展因素从 2000 年开始至 2015 年的累积效应达到了 42.86,对能源消费碳排放的贡献率为 45%,远高于其他要素的贡献率。人口因素的累积效应为 16.66,贡献率为 20%;能源结构的累积效应为 15.57,贡献率为 19%;累积效应最低的是能源强度因素累积效应为 12.53,贡献率为 16%。

经济发展在能源消费碳排放的过程中,对西安市碳排放的贡献率最高,其主要原因是城市作为经济发展过程中的主要节点,各类能源消费是必要因素,而能源消费的主要产物就是碳排放。西安市作为西北重镇,工业发展正处于高需求期,为了提升城市综合影响力,西安市正处于大力改善城市基础设施,提升城市新区服务水平,完善整体交通网络阶段。因此,在这个阶段经济发展要素对能源消费碳排放起到了拉动作用,经济发展效应拉动碳排放增长的规律与国家五年规划同步,经济社会发展对能源消费的依赖性较高,并保持持续增长趋势。

人口作为对能源消费碳排放增长的另一个因素,增长速度缓慢,表明人口因素对碳排放的影响有限,不起主要拉动作用。但人口影响效应均大于 1,对能源消费碳排放依旧起到拉动作用,这与西安城市空间外扩吸纳大量乡镇人口有关,从人口基数上提升了对碳排放的影响效应。分析人口要素对能源消耗碳排放的贡献率发现,贡献率正在逐年减小,充分反映了西安市城市生活用能逐渐趋于低碳环保化。这与人口素质提升,低碳环保理念的推行有直接关系。

能源结构因素变化对碳排放的影响较小,西安市能源消费主体基本维持不变,与之前测算的 8 类主要能源的消耗量规律一致,低碳能源的消耗量虽然在逐年增长,但还是以煤炭,原油为主,能源结构对减缓能源消耗碳排放的贡献率降幅较大,从 2000—2001 年的 24% 降至 2013—2015 年的 13%,说明西安市城市运行的支撑能源正在逐渐转变,清洁能源使用逐步替代传统能源是未来西安市低碳发展的主要路径,也是降低碳排放的主要潜力点。

能源强度是对碳排放起到抑制作用的一个因素,与以上碳排放强度结果相对应。从 2008 年开

始,效应值都小于1,相较其他因素的拉动作用,抑制效果虽然不太明显,但能源强度的抑制效应说明,改变能源强度能够有效减缓碳排放的产生。在经济发展过程中,城市所处地位特殊,能够优先做出技术改变,调节陈旧要素,从而促使能源利用率的提升。西安市科研条件优越,可通过能源利用技术创新,提升能源利用强度,促使其充分发挥对碳排放的抑制作用,降低能源消费碳排放并产生正向效应。

4 结论与建议

本文基于2000—2015年西安市8种主要能源消费数据,通过碳排放模型和GFI模型计算西安市能源消费碳排放量的变化趋势及其影响因素,得出以下结论:

(1) 西安市能源消费主体保持不变,能源消费结构及利用效率改善趋势初显。2000—2015年,西安市主要能源碳排放均呈上升趋势,总量从 734.13×10^4 t增长到 1357.62×10^4 t,年均增长为8.72%。低碳能源的消耗量在逐年上升,但能源消费结构转变不大,传统能源消费中煤炭、原油的比重依然较高,占到每年总碳排放的95%以上。焦炭、煤油、燃料油的碳排放量逐年减少,增长率均为负值。碳排放总量与人均碳排放量呈现出高度的吻合性,碳排放强度呈现下降趋势,年均下降4.19%。

(2) 基于GFI模型的因素分解中,对西安市能源消费碳排放起到拉动作用的要素占到75%,抑制要素所起的抑制作用效果不显著,经济发展和人口要素起主导拉动作用,其次为能源结构,能源效率因素起到抑制作用。西安市城市建设快速发展,城乡人口规模不断扩大,导致经济发展要素与人口要素对能源消费碳排放的拉动作用明显;由于煤炭、原油作为西安市主要能源消费还保持上升趋势,消费量巨大,其他能源消费量小且变化幅度不大,导致能源结构使用未能出现明显变化。因此,能源结构对能源消耗碳排放的影响较小,总体趋势基本维持不变,拉动效应不明显,截至2015年拉动效应为1.02,与2000年相比持平。能源强度因素从2007年开始对西安市能源消费碳排放起到持续抑制作用,抑制作用不断加强,但无法抵消拉动要素所产生的效应,贡献率仅为16%。

与以往研究相比,本文基于GFI模型对西安市能源消费进行分析,克服残差项对结果的影响,准确分析影响碳排放变化的因素,并探讨各因素特点,针对性的对西安市能源消费碳减排提出建议:

西安市主要碳排放来源是基于经济发展为主要素并伴随的能源消费所导致的,而能源消费的主体为煤炭、原油,由于其本身较高的排放系数和巨大的消耗量,导致碳排放居高不下。因此,通过改变现有能源消费结构降低西安市主导高碳排能源的使用,降低主体能源消费量,提升能源利用效率,“一降一升”成为改变高碳排放的重要途径。具体可通过充分发挥城市科学技术优势,提升现有能源使用平台的效率,开发利用可循环可再生的清洁能源参与城市发展建设。

西安市能源消费碳排放受到经济发展、人口、能源结构和能源强度因素的不同作用,4个要素中经济发展、人口、能源结构3个要素为拉动要素其作用明显大于能源强度要素的抑制作用。据此,从四个方面分别提出以下建议:

第一,西安市GDP从2000年到2014年环比增长了13.48%,经济发展势头迅猛,能源需求量和消费量也因此居高不下,因此既需要满足能源消费需求降低排放量又能够保持经济的快速发展,需要考虑积极利用新能源和低碳能源参与城市发展建设,降低现有高耗能产业的发展,并逐步寻求替换,打破经济增长对能源消费的强烈依赖程度。

第二,城市能源消耗中,人作为城市用能的主体之一,提倡低碳环保节能减排理念,提高市民素质,加深对碳排放的理解,限制高排放企业的发展,遵循低碳环保规律,成为城市减排与大范围减排所不同的地方。

第三,低碳能源在普及和使用上还受到技术、设备、人员、资金等因素限制,因此在短期内能源消费结构改变较为困难,但经过分析能源消费结构拥有转变趋势和潜力,保持现有能源消费结构转变的趋势,在未来优化能源消费结构中,能源构成格局的转变成为西安市减排潜力的挖掘点。

第四,经过反复验证[22-23],能源强度的降低能够为减少碳排放起到一定作用。因此,改善技术水平,杜绝二次用能次数,做好城市能源清洁生产回收工作,提升能源效率,从而增加对碳排放的抑制作用,达到节能减排效果,也是西安市节能减排的重要途径。

参考文献(References)

[1] 胡锦涛. 携手应对气候变化挑战——在联合国气候变化峰会开幕式上的讲话[J]. 资源与人居环境,2009,20(20):14-15. [HU Jintao. Work together to the challenges of climate change: Addressat the opening ceremony of the UN Climate Change Summit[J]. Resources and Habitant Environment,2009,20(20):14-15.]

[2] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report[R]. Geneva, Switzerland,2007.

[3] 谢守红,邵珠龙,牛水霞. 无锡市工业碳排放的测算及影响因素[J]. 经济地理,2012,32(5):140-146. [XIE Shouhong, SHAO Zhulong, NIU Shuixia. Measurementand analysis of affecting factors of Wuxi's industrial carbon emission[J]. Economic Geography,2012,32(5):140-146.]

[4] WU Junnian. Integrated assessment of exergy, energy and carbon dioxide emissions in an iron and steel industrial network[J]. Applied Energy,2016,(183):430-444.

[5] 庞博,方创琳. 智慧低碳城市发展的动力机制探究[J]. 干旱区地理,2016,39(3):621-629. [PANG Bo, FANG Chuanglin. Theoretical analysis of the dynamic mechanism of smart low-carbon city[J]. Arid Land Geography,2016,39(3):621-629.]

[6] 杜强. 市域建筑业碳排放与经济发展关系及影响因素研究——以西安市为例[J]. 环境工程,2017,35(2):174-179. [DU Qiang. Study on relationship between carbon emissions and economic development in municipal construction industry: A case study of Xi'an[J]. Environmental Engineering,2017,35(2):174-179.]

[7] 张清,林涛. 基于 GFI 模型的工业能源强度变动因素分解研究[J]. 安全与环境学报,2015,15(5):292-295. [ZHANG Qing, LIN Tao. Research on Tianjin industry's energy-short-age alleviation based on GFI model[J]. Journal of Safety and Environment,2015,15(5):292-295.]

[8] SITI Indati Mustapa. Analysis of CO_2 emissions reduction in the Malaysian transportation sector: Anoptimisation approach[J]. Energy Policy,2016,89:171-183.

[9] 田立新,张蓓蓓. 中国碳排放变动的因素分解分析[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(11):1-7. [TIAN Lixin, ZHANG Beibei. Factor decomposition analysis of carbon emissions change in China[J]. China Population, Resources and Environment,2011,21(11):1-7.]

[10] 汪菲,王长建. 新疆能源消费碳排放的多变量驱动因素分析——基于扩展的 STIRPAT 模型[J]. 干旱区地理,2017,40(2):441-452. [WANG Fei, WANG Changjian. Examining the driving factors of energy related carbon emissions using the extended STIRPAT model based on IPAT identity in Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2017,40(2):441-452.]

[11] 李国璋,王双. 区域能源强度变动:基于 GFI 的因素分解分析[J]. 中国人口·资源与环境,2008,18(4):62-66. [LI Guozhang, WANG Shuang. Regional energy intensity change decompositions based on GFI technique[J]. China Population, Resources and Environment,2008,18(4):62-66.]

[12] 任晓松,赵涛. 基于广义费雪模型的天津市碳排放影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(6):8-12. [REN Xiaosong, ZHAO Tao. Impact factor decomposition analysis for carbon emissions change in Tianjin City based on the GFI model[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2014,28(6):8-12.]

[13] 黄蕊,王铮,丁冠群,等. 基于 STIRPAT 模型的江苏省能源消费碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. 地理研究,2016,(4):781-789. [HUANG Rui, WANG Zhen, DING Guanqun, et al. Trend prediction and analysis of influencing factors of carbon emissions from energy consumption in Jiangsu Province based on STIRPAT model[J]. Geographical Research,2016,(4):781-789.]

[14] 刘贤赵,高长春,宋炎,等. 湖南市域化石能源消费碳排放时空格局及驱动因素[J]. 生态学报,2017,37(7):1-12. [LIU Xianzhao, GAO Changchun, SONG Yan, et al. Temporal-spatial carbon emission patterns caused by fossil energy consumption at the city level in Hunan Province, China and the factors driving their composition[J]. Acta Ecologica Sinica,2017,37(7):1-12.]

[15] 马彩虹,邹淑燕,赵晶,等. 西北地区能源消费碳排放时空差异分析及地域类型划分[J]. 经济地理,2016,36(12):162-168. [MA Caihong, ZOU Shuyan, ZHAO Jing, et al. Temporal-spatial difference analysis of carbon emission from energy consumption and its regional type division in northwest China[J]. Economic Geography,2016,36(12):162-168.]

[16] 刘竹,耿涌,薛冰,等. 城市能源消费碳排放核算方法[J]. 资源科学,2011,33(7):1325-1330. [LIU Zhu, GENG Yong, XUE Bing, et al. A calculation method of CO_2 emission from urban energy consumption[J]. Resources Science,2011,33(7):1325-1330.]

[17] ANG B W. Decomposition analysisfor poficy making in energy: Which is the preferred method[J]. Energy Policy,2004,32(9):1131-1139.

[18] ANG B W, LIU F L, CHUNG H-S. A generalized Fisher index approach to energy decomposition analysis[J]. Energy Economics,2004,26(5):757-763.

[19] 刘佳骏,李雪慧,史丹. 中国碳排放重心转移与驱动因素分析[J]. 财贸经济,2013,12(12):112-123. [LIU Jiajun, LI Xuehui, SHI Dan. Study on the shift of CO_2 emissions gravity center and driving factors[J]. Finance & Trade Economics,2013,12(12):112-123.]

[20] 王少剑,刘艳艳,方创琳. 能源消费 CO_2 排放研究综述[J]. 地理科学进展,2015,34(2):151-164. [WANG Shaojian, LIU Yanyan, FANG Chuanglin. Review of energy-related CO_2 emission in response to climate change[J]. Progress in Geography,2015,34(2):151-164.]

[21] 谢守红,王利霞,邵珠龙. 国内外碳排放研究综述[J]. 干旱区地理,2014,37(4):720-730. [XIE Shouhong, WANG Lixia, SHAO Zhulong. Review on carbon emissions researches at home

and abroad[J]. Arid Land Geography,2014,37(4):720 – 730.]

[22] LIU Yansui,YAN Bin,ZHOU Yang. Urbanization,economic growth,and carbon dioxide emissions in China:A panel cointegration and causality analysis[J]. Journal of Geographical Sciences,2016,(2):131 – 152.

[23] 薛静静,沈镭,彭保发,等. 区域能源消费与经济和环境绩效——基于14个能源输出和输入大省的实证研究[J]. 地理学报,2014,(10):1414 – 1424. [XUE Jingjing,SHEN Lei,PENG Baofa,et al. The economic and environmental performance of regional energy consumption:An empirical study on 14 major energy output and input provinces in China[J]. Acta Geographica Sinica,2014,(10):1414 – 1424.]

Carbon emission and factor decomposition of energy consumption in Xi'an based on GFI model

WANG Jian, XUE Dong-qian, MA Bei-bei

(*National Demonstration Center for Experimental Geography Education*, *School of Geography and Tourism*, *Shaanxi Normal University*, *Xi'an* 710119, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: Based on the consumption data of coal,coke,crude oil,gasoline,kerosene,diesel oil,fuel oil and natural gas in Xi'an City,Shaanxi Province,China from 2000 to 2015,carbon emission model and GFI model were used to analyze the change trend and influencing factors of carbon emissions from regional energy consumption to explore the interaction and influence of driving and inhibiting elements of energy consumption in Xi'an City. The results show as follows: (1) The carbon emissions from energy consumption in Xi'an City is increasing,and the consumption of coal and crude oil is the main carbon source. (2) The energy utilization structure is changing and the energy consumption of the low energy consumption and the low carbon emission is increasing annually. (3) Economic development factors and population factors are the main driving factors of the carbon emission from energy consumption in Xi'an City. The driving effect of energy structure elements is not significant and can not be changed in the short term. The energy intensity has the inhibitory effect on energy consumption and carbon emission,but the effect is not obvious. Finally,the proposals to reduce the carbon emission from the energy consumption in Xi'an City are put forth in the paper and the key is to change the existing energy consumption structure to improve energy efficiency.

Key words: carbon emissions; GFI model; factorization; Xi'an City